

## 気泡運動と液相運動に及ぼす気泡 - 壁面衝突の影響

The Effect of a Wall-Bubble Collision on the Motion of a Bubble and Liquid

○学 浦野繁幸（静大工） 学 石飛正規（静大院） 正 斎藤隆之（静大工）

Shigeyuki URANO, Masaki ISHITOBI, Takayuki SAITO,

Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Shizuoka, 432-8561

Key Words; Multiphase flow, Single bubble, Wall,

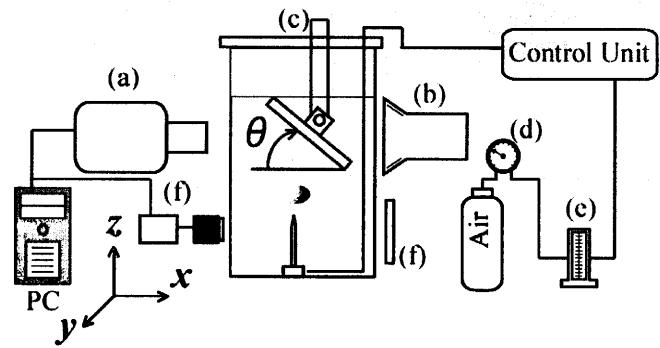
## 1. 緒言

気液二相流は化学反応器などの工業プロセスや、地球温暖化対策技術<sup>[1]</sup>など、様々な分野で見られる。その流動構造を解明することは、運転効率の向上および装置設計において非常に重要である。気液二相流は、「気泡-気泡間」、「気泡-液相間」、「気泡-壁面間」の三つの相互作用に支配されている。本研究は、その中の「気泡-壁面間の相互作用」について実験的に解明することを目的としている。この相互作用について、壁面付近における気泡挙動の解明を目的とした多くの研究があるが<sup>[2]</sup>、気泡-壁面間の衝突現象に関する研究は少ない。本研究では、この衝突現象に焦点を当て、静止流体場での単一上昇気泡と壁面の衝突現象を高速ビデオカメラにより微視的に可視化撮影した。時間分解能と空間分解能を高めることで、瞬時の気泡形状を精度よく捉えている。結果を基に壁面との衝突により誘起される気泡の重心運動と界面運動について考察する。

## 2. 実験装置および方法

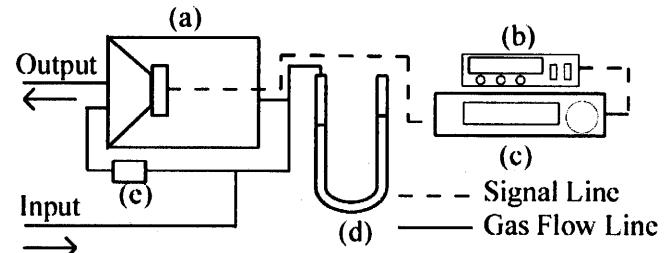
実験装置の概略を Fig.1 に示す。アクリル製矩形水槽(150×150×300mm)の底部中央に注射針(外径 0.50mm、内径 0.32mm、刃面角度 12°)を固定する。角度と高さを任意に設定できるアクリル製壁面装置(c)を設置し、煮沸脱気したイオン交換水を注射針先端から高さ約 100mm まで満たす。アクリル製壁面装置を x-z 平面に垂直に設置し、直線上昇中に衝突するように位置を定めることで、気泡の重心運動を二次元運動にしている。また壁面角度  $\theta$  を 20°, 40°, 60° と変化させることで、壁面と気泡の衝突角度による影響を考察した。気相には純空気を使用し、注射針を用いることで高い再現性を可能にしている。気泡発生の機構として、空気はポンベより送り出され、精密なニードルバルブを備えた圧力計(d)・流量計(e)によって調整され、気泡発生制御部(Fig.2)に導かれる。気泡発生制御部のオーディオスピーカ(a)の振動による圧力変動により気泡を注射針から射出している。ファンクションジェネレータ(b)とオーディオアンプ(c)によりスピーカの振動を調節することで、気泡発生周波数を高度に制御した。詳細は仮屋崎ら<sup>[3][4]</sup>を参照されたい。本研究では気泡発生周波数を 0.1Hz とすることで、先行気泡により誘起された液相運動が十分に散逸した静止流体場を再現性良く形成している。気泡形状を精度良く可視化するため、100W のハロゲンを光源とする投影画像をマイクロズームレンズが装着された高速ビデオカメラ(Phantom V9.0)で時間・空間ともに高分解能な撮影を行う。カメラの位置を変え y-z 平面(以後 front)と x-z 平面(side)から気泡を捉えた。

気泡径の算出及び不確かさ解析として、合計 500 個の気



(a)High Speed Camera (b)Halogen Lamp (c)Acrylic Wall System  
(d)Pressure Gauge (e)Flow Meter (f)Laser Optic Sensor

Fig.1 Experimental Set up



(a)Audio Speaker Box (b)Function Generator (c)Audio Amplifier  
(d)Manometer (e)Check Valve

Fig.2 Control Unit

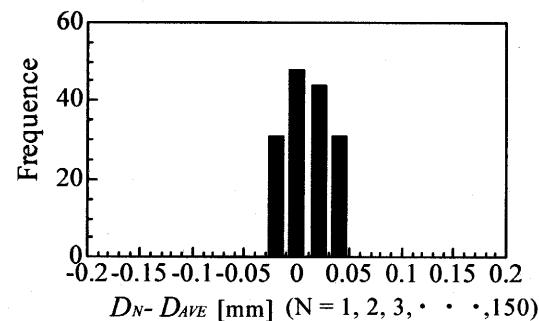


Fig.3 Histogram of Bubble Diameter

泡を採取し体積を算出した。また同時に気泡形状が z 軸に対象となる射出直後の直線上昇区間で気泡形状を撮影し(8.16mm × 6.00mm, 1000fps, 5μm /pixel), 回転椭円体と仮定することで画像処理から球等価径を見積もった。150 個の気泡を撮影し気泡径のばらつきを評価した。サンプリングより得た球等価径は 2.33mm, 画像より得た球等価径は 2.32mm

となった。測定誤差のヒストグラムを Fig.3 に示す。誤差 0.08mm 以内に全ての要素があり、標準偏差は 0.195mm となつた。したがつて本実験では十分な画像処理精度と高い再現性が認められ、実験データの統計的な処理を可能にしている。

気泡の重心軌道を詳細に捉えるため、撮影領域を 7.26mm × 7.26mm、空間分解能を 7.56μm/pixel、時間分解能を 1980fps とした。測定対象を気泡射出後から 0.15s としており、これは気泡と壁面の 2 回目の衝突後までに相当する。気泡軌道にあわせてカメラを移動させ、 $\theta = 20^\circ$  については 5 区間、 $40^\circ$  と  $60^\circ$  では 7 区間に分けて撮影を行つた。半導体レーザー通過センサを用い、常に同じ位置で同じ時間に撮影を開始し、高速ビデオカメラの変位を測定することで、気泡の重心座標を時間的にも空間的にも再構成することを可能にしている。気泡の界面変形についてもほぼ同様に撮影した。界面の高速現象を捉えるため時間分解能を高め、撮影領域を 4.35mm × 3.87mm、空間分解能を 7.56μm/pixel、時間分解能を 5300fps としている。得られた画像より気泡の界面運動を考察した。

### 3. 実験結果および考察

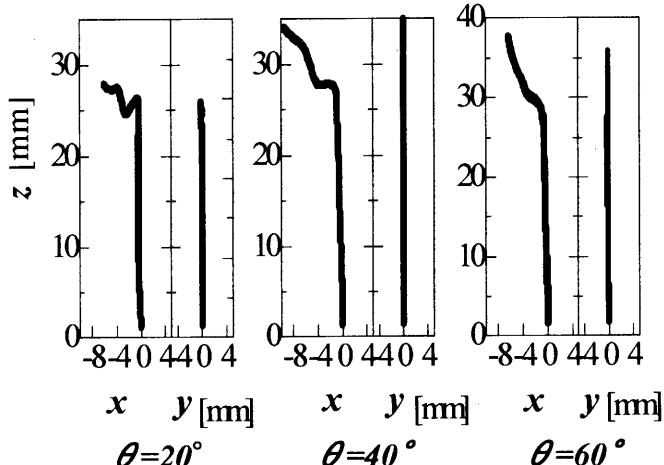


Fig.4 Bubble Trajectory

Fig.4 に気泡軌道を示す。front 面において、軌道はほぼ直線となった。これは気泡発生条件が静止流体場であり、直線上昇中に壁面と衝突させたことに起因している。また、衝突後に誘起された複雑で高周波な界面運動においては、front 面に対する左右対称性が確認できた。

壁面衝突が気泡運動に及ぼす影響を、気泡重心速度  $u$ 、 $w$  と、気泡の界面変形より考察する。界面変形を表すパラメータとしてアスペクト比と、円形度  $Cr = 4\pi A / P^2$  ( $A$ : 気泡面積、 $P$ : 気泡周長) を用いた。 $\theta = 40^\circ$  (side から撮影)における  $u$ 、 $w$  の経時変化を Fig.5、アスペクト比と円形度の経時変化を Fig.6 に示した。気泡が壁面に衝突した時間を  $t_c$  としている。注射針より射出された気泡は、加速しながら徐々に扁平していくことがわかる。また、このとき見られる速度の周期的な変動は、気泡形状の周期的な変動に伴う気泡の重心位置の変動であると考えられる。壁面到達前、気泡速度は約 340mm/s に達し、上昇速度はほぼ平衡状態に至っている。壁面との距離が近づくにつれ壁面と気泡間の液相の圧力が高まり気泡運動に影響を与えると考えられる。実験結果より、気泡の重心速度に及ぼす壁面の影響範囲は壁面の角度によらずほぼ 1mm であった。この範囲から重心速度  $w$  は急激に減少を始める。このとき  $u$  はほとんど変化

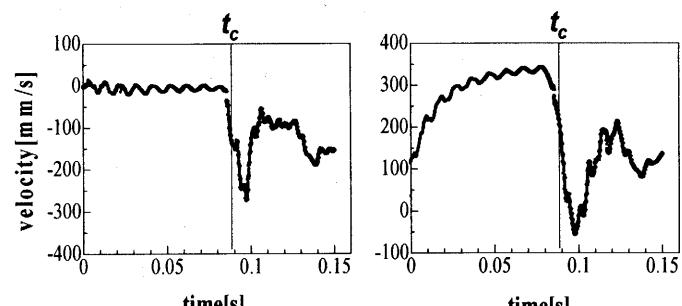


Fig.5 Velocity and Time ( $\theta = 40^\circ$  <side>)

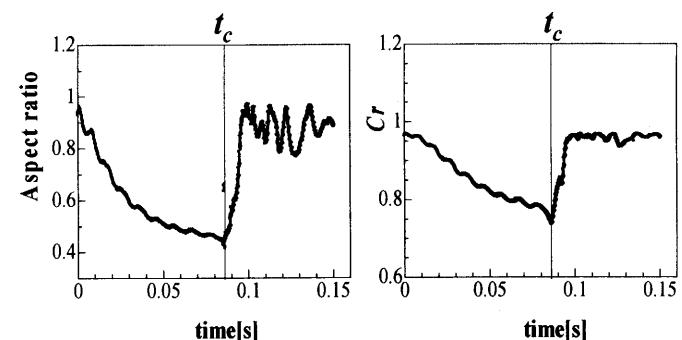


Fig.6 Aspect ratio and  $Cr$  ( $\theta = 40^\circ$  <side>)

しない。同時に気泡界面は同影響に起因すると思われる変形を示し、 $z$  軸に対して垂直であるほど大きく扁平することが確認された。また 1 回目の衝突後、アスペクト比、円形度  $Cr$  ともに急激に上昇し、再び壁に接触するときには気泡形状はほぼ真円となることが確認された。

最後に、題目にも掲げているように気泡-壁面衝突の現象の解明には、気泡が衝突する際の周囲液相運動を捉えることが不可欠であるが、現在データを取得中であり、講演会にて報告する。

### 4. 結言

本研究では、空間・時間分解能の高い高速ビデオカメラを用い、オーディオスピーカーを利用した気泡発生装置により気泡径と気泡発生周期を高度に制御することで、静止流体場での気泡と壁面の衝突現象について詳細に観察した。

その結果 front 面において、衝突現象によって誘起された左右対称な界面振動を確認した。気泡重心速度  $u$ 、 $w$ 、アスペクト比、円形度の経時変化より、壁面が気泡に及ぼす影響範囲は壁面近傍の約 1mm の領域であり。そこでは、気泡重心速度  $w$  は急激に減衰し始め、 $u$  はほとんど変化しないことが明らかになった。衝突後アスペクト比、円形度  $Cr$  ともに急激に上昇し、再度壁に到達するときには、ほぼ真円の形状を示した。

### 参考文献

- [1] T. Saito, et al.: Environmental Science & Technology, **34**, 4140-4145, (2000).
- [2] T. Fumio, S. Takagi, J. Magnaudet, Y. Matsumoto: J. Fluid Mech. **461**, 277-300, (2002)
- [3] 仮屋崎侃, 逢坂昭治: 機論 B 編, **69**, 674, 2712-2718. (2002-10)
- [4] 真田俊之, 渡部正夫, 仮屋崎侃, 深野徹: 機論 B 編, **69**, 678, 307-314. (2003)